

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КЛЕТЕЙ ЧЕРЕЗ ПРОКАТЫВАЕМУЮ ПОЛОСУ

Приведены результаты измерений и моделирования взаимодействия клетей во время заполнения полосой непрерывной группы. Учтены податливость главных линий клетей и транспортное запаздывание. Показаны особенности формирования межклетевых натяжений и разнотолщинности концевых участков полосы.

Ключевые слова: захват полосы валками, межклетевые натяжения, математическая модель, разнотолщинность полосы, момент сил упругости.

The article presents the results of measurement and simulation of strands interaction at the moment the strip enters the continuous train. The yield of the main stands and transport delay are taken into account. The study demonstrates features of interstand tension creation and gage interference at the strip ends.

Key words: strip biting, interstand tension, mathematical model, gage interference, force moment.

Задача взаимодействия клетей через прокатываемую полосу решалась многими исследователями в связи с конкретно возникавшими производственными вопросами и в плане теоретических разработок. Фундаментальные вопросы непрерывной прокатки решены в работах А. И. Целикова, В. Н. Выдрина, А. П. Чекмарева, Н. Н. Дружинина, Ю. М. Файнберга, М. А. Беняковского, П. И. Полухина и др. Они относились к квазистационарному процессу прокатки, т.е. при действии возмущений.

Вопросы динамического взаимодействия клетей в режиме, когда полоса, прокатываемая в предыдущей клети, захватывается валками последующей клети, исследованы в значительно меньшей мере. Одна из главных задач здесь состоит в определении динамических нагрузок в оборудовании, электродвигателе и в полосе, находящейся в межклетевых промежутках, а также их влияния на продольную разнотолщинность проката.

Во время заполнения (захват полосы валками) или освобождения непрерывной группы клетей полосой в крутильной системе линии главного привода формируются колебательные процессы. Большую роль при этом играет податливость валов, шпинделей и других элементов линии. Упругие колебания в линии приводят к появлению колебательной составляющей окружной скорости рабочих валков, скорости входа и выхода по

лосы из валков и в итоге к колебаниям межклетевых усилий в полосе. Степень взаимодействия можно проследить по моменту сил упругости в линии привода или моменту электродвигателя смежных клеток. Например, в непрерывной трехклетевой черновой подгруппе широкополосного стана 2000 ОАО «Северсталь» (рис. 1) увеличение момента на шпинделе и валу двигателя клетки № 3 при захвате полосы валками клетки № 4 свидетельствует о подпоре в межклетевом промежутке.

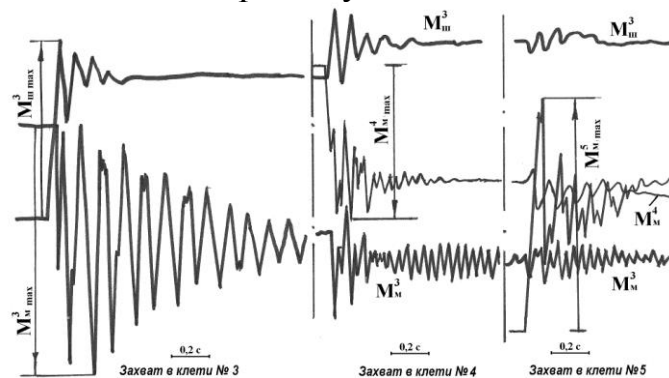


Рис. 1. Момент сил упругости в линиях привода клеток непрерывной черновой подгруппы при заполнении полосой. Стан 2000

В чистовых клетях непрерывных широкополосных станов горячей прокатки взаимодействие происходит через межклетевое натяжение, что отмечается на моментах сил упругости (рис. 2). Межклетевые усилия в полосе на прокатных станах непосредственно не измеряются. Часть переднего и заднего участка полосы прокатывается без натяжения, что оказывает влияние на продольную разнотолщинность проката.

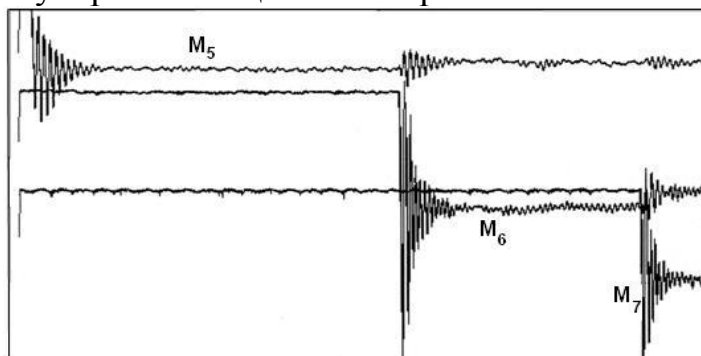


Рис. 2. Момент сил упругости в чистовых клетях № 5, 6, 7 во время заполнения непрерывной группы полосой. Стан 1680

С целью установления закономерностей изменения межклетевых усилий во время неустановившегося режима прокатки и их влияния на толщину полосы разработана математическая модель динамического взаимодействия клеток для шестиклетевой непрерывной группы широкополосного стана [1, 2] и соответствующая компьютерная программа. В модели учтены крутильные колебания в главных линиях, колебания клетки и валко-

вой системы, уравнения главного привода. Линия привода представлена трехмассовой расчетной схемой (моменты инерции двигателя, редуктора и валковой системы) с податливыми валами.

Расчет сопротивления пластической деформации, усилия и момента на валках выполняется согласно известным методам В. И. Зюзина, А. И. Целикова. Учтена зависимость опережения от переднего и заднего усилия в полосе. В дифференциальном уравнении для межклетевого усилия учтена разность ΔV скоростей входа полосы в следующую клеть и выхода ее из предыдущей клетки. Взаимосвязь уравнений позволяет определить влияние различных возмущений (отклонение температуры, толщины, ширины полосы и др.) на параметры процесса (опережение, окружную скорость валков и входа и выхода полосы, толщину полосы, межклетевые усилия и др.).

Идентификацию модели выполнили применительно к трем режимам. Для установившегося режима прокатки получили постоянство всех параметров в клетях (скорости, усилия и момента, опережения, заданных натяжений, толщины полосы и др.). В этом режиме задавали возмущения в виде небольшого изменения скорости и воздействия нажимными винтами и сравнивали с результатами измерений на стане. Заполнение (захват металла валками) полосой чистовой группы клетей идентифицировали по моменту сил упругости в главных линиях (рис. 3).

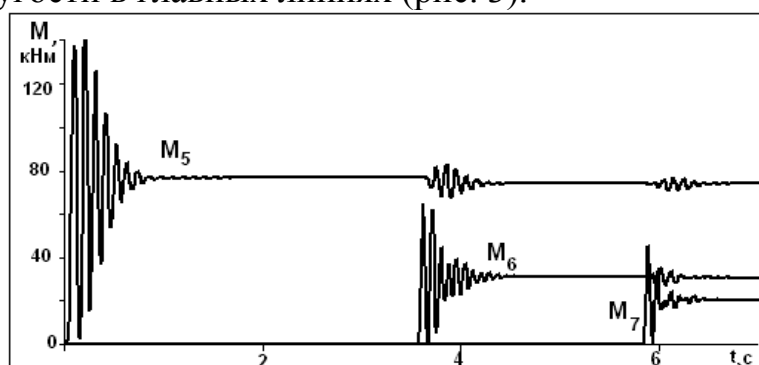


Рис. 3. Моделирование момента сил упругости в клетях № 5,6,7 во время заполнения непрерывной группы полосой. Стан 1680

Составленная систем уравнений дополнена уравнениями транспортного переноса, которые учитывают время запаздывания поступления отклонения толщины, наведенного в предыдущей клет, в следующую клет. Следует заметить, что роль транспортного запаздывания как возмущающего фактора отмечалась во многих работах, однако его моделирование не проводилось, и значимость поэтому оставалась не выясненной. На рис. 4 приведены результаты моделирования динамического процесса заполнения полосой непрерывной шестиклетевой группы чистовых клет широкополосного стана 1680 комбината «Запорожсталь» без задания технологических возмущений. Естественными возмущениями в данном (но-

минальном) варианте служит прокатка без натяжения переднего участка полосы в каждом промежутке (6 м), что приводит к статической составляющей отклонения толщины. А также разнотолщинность полосы, наводимая упругими колебаниями клетки совместно с линией привода и взаимодействием клеток. Разнотолщинность от этих факторов переносится с запаздыванием в следующие клетки. Линия $ABC...H$ отражает итоговое отклонение толщины переднего участка готовой полосы, на которой остались отпечатки следов взаимодействия клеток. Например, на участке AB толщина изменяется за счет увеличения натяжения T_{9-10} . След BC остался в результате входа в клету № 10 отклонения толщины $\Delta H_{19}^{(9)}$ после клетки № 9. След GH – от входа в клету № 10 отклонения $\Delta H_{19}^{(5)}$, т. е. трансформированное отклонение толщины после клетки № 5 с учетом выравнивания толщины в клетях № 6...9.

В рассмотренном варианте настроечный скоростной режим в клетях соответствует согласованному установившемуся режиму прокатки. Из рис. 4 видно, что после захвата полосы валками клетки № 6 натяжение T_{56} формируется с некоторым опозданием (как и T_{67} , T_{78}). В начальный период здесь происходит кратковременное петлеобразование. Появление натяжения T_{67} , T_{78} и др. вызывает дополнительные скачки натяжений в предыдущих промежутках.

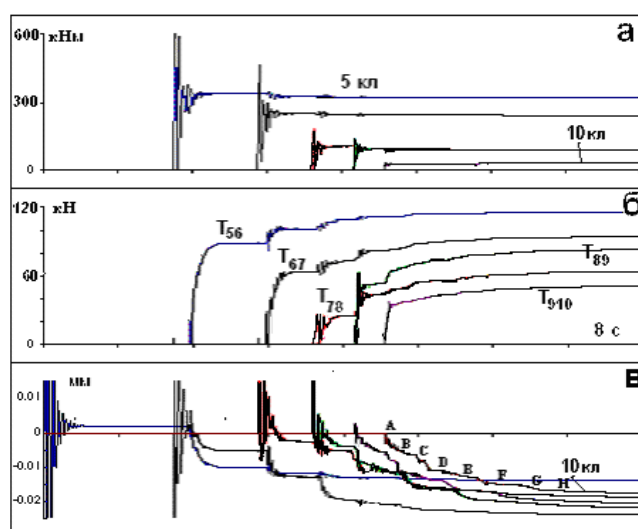


Рис. 4. Моменты сил упругости (а), межклетевые натяжения в полосе (б) и отклонения выходной толщины полосы от номинального значения после каждой клетки (в) при номинальном режиме заполнения полосой непрерывной группы клеток. Полоса 23 x 1250 – 2,5 x 1250 мм. Стан 1680

Моделирование динамического процесса взаимодействия клеток во время заполнения чистой группы полосой выполнили при задании отклонения температуры и толщины полосы (подката). Получены в целом известные ранее качественные зависимости при статическом решении задачи. Наряду с этим определены количественные соотношения и динамика

формирования межклетевых натяжений и разнотолщинности полосы. Одновременное увеличение температуры и толщины полосы перед чистовой группой на 5 °С и 0,5 мм не приводит к увеличению натяжений во всех промежутках. Влияние обеих возмущений такого порядка на $T_{i,i+1}$ взаимно компенсируется. Наихудшим сочетанием является уменьшение температуры и толщины подката. Оба возмущения действуют в одну сторону и приводят к увеличению натяжений во всех промежутках. Так при –5 °С и –0,5 мм натяжения увеличиваются в 2,5...3,5 раза по сравнению с режимом без возмущений.

Расчеты по модели без учета податливости линии привода (жесткая модель) и с учетом ее податливости и динамических свойств клетки (мягкая модель) показали, что количественно результаты по натяжениям и отклонениям толщины готовой полосы отличаются на 20÷30 %. Мягкая модель более точная и позволяет получить более богатую и тонкую картину переходных процессов и взаимосвязей параметров.

Таким образом, с помощью разработанной модели впервые получен ряд новых результатов по взаимодействию клеток через прокатываемую полосу с учетом податливости линий главного привода и транспортного запаздывания.

1. Установлен характер изменения межклетевых натяжений при заполнении чистовой группы клеток полосой, которые на ШПС горячей прокатки не измеряются. Частота колебаний натяжений совпадает с частотой собственных колебаний линий главного привода. При отсутствии возмущений и согласованном деформационно-скоростном режиме в клетях пиковые значения натяжений не формируются, нарастание натяжений достаточно плавное, в некоторых промежутках происходит кратковременное (до 0,1 с) петлеобразование.

2. При номинальном варианте настройки деформационно-скоростного режима и заполнении группы клеток полосой на ее переднем и заднем участках проявляются следы в виде участков продольной разнотолщинности. Они обусловлены отсутствием натяжения, а также транспортным запаздыванием, являющимся своеобразным возмущением. Концевые участки полосы имеют большую толщину по сравнению с серединой, что согласуется с показаниями толщиномера.

3. Раскрыта динамика формирования межклетевых натяжений и продольной разнотолщинности концевых участков при таких возмущениях, как отклонение температуры и толщины подката. Определены сочетания значений возмущений, которые приводят к ослаблению или увеличению их влияния на натяжение.

4. Путем замера отклонения температуры и толщины подката от номинала и ввода их в компьютерную программу можно рассчитывать поправки для коррекции режима прокатки в непрерывной группе клеток и ослаблять влияние возмущений на натяжение и толщину. Программа использу-

ется при разработке новых режимов прокатки в шестиклетьевой группе клетей широкополосного стана 1680.

Список литературы

1. *Путноки А. Ю.* Модель динамического взаимодействия смежных черновых клетей широкополосного стана при непрерывной прокатке / А. Ю. Путноки, В. В. Веренев // *Металл и литье Украины*. 2002. № 11–12. С. 26–30.

2. Динамические процессы в клетях широкополосного стана 1680 / В. В. Веренев, В. И. Большаков, А. Ю. Путноки и др. : монография. Днепр-петровск: ИМА–пресс, 2011. 184 с.